

POWERPLANT

Roswati Nurhasanah
Jasmid Edy
Eza Brian Pradana

Arief Suardi
Vendy Antono
Al Asyi

Arisma Chairul Syarif
Iman Kartolaksano R
Jalu Eko Harjono

Nofirman
Yusuf Rasyid

Win Alfalah
Eko Sulistyio
Rahmat Ikhsan

Utami Wahyuningsih
Halim Rusjdi
Eko Sulistiyo

Sahlan

Jumiati
Intan Ratna Sari Yanti
Sri Yayi

Perancangan Boiler Dengan Memanfaatkan Sampah Kering Untuk Bahan Bakar PLTU Mini 3 kW STT-PLN

Analisis Perbandingan Penggunaan *Big Oil Gun* dan *Tiny Oil Gun* terhadap Kosumsi Bahan Bakar Pada Saat *Strat Up Unit* di PLTU Banten Lontar

Uji Prestasi dan Emisi Diesel Berbahan Bakar Minyak Nabati Murni untuk Pembangkitan Daya di Daerah Terpencil

Pengukuran Suhu Pembakaran di Dalam Boiler : Pirometer Akustik VS Pirometer Infrared

Pengaruh Pemeliharaan *Overhaul Turbo Charger* Terhadap Kinerja Mesin Unit VII PLTD Ampenan

Penanggulangan Korosi Pada Pipa Gas Dengan Metode *Catodic Protection* (Anoda Karbon) PT PGN Solution Area Cengkareng

Analisis Strategi Teknologi PLTS Fotovoltik di Indonesia Terhadap Nilai Ekvivalensi dan Pemanfaatan Per Wilayah

Pengembangan Model Pembelajaran Berbasis Tutorial Bagi Mahasiswa Teknik Mesin STT PLN



9 772356 151002

SEKOLAH TINGGI TEKNIK - PLN (STT-PLN)

JURNAL POWERPLANT

VOL. 5

NO. 1

HAL. 1 - 63

NOVEMBER 2017

ISSN No :2356-1513

PERANCANGAN BOILER DENGAN MEMANFAATKAN SAMPAH KERING UNTUK BAHAN BAKAR PLTU MINI 3 kW STT-PLN

Roswati Nurhasanah

Jasmid Edy

Eza Brian Pradana

Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

Email : roswati@sttpln.ac.id

Abstract

Boiler is a heat exchanger that serves to evaporate boiler feed water to produce dry steam to drive the turbines in order to produce electricity. The fuels used in this study are dry wastes such as paper, plastic, and wood. The process of designing this boiler is carried out so that the use of diesel to generate steam on energy conversion practicum/experiment in STT-PLN is no longer needed. Instead, they can use dry waste as fuel to produce steam which later will drive the turbines. The residue of burning waste process in the form of ashes is approximately 0.053% of the weight or volume of dry waste before burnt. The calculation conducted on this works is to determine the design of evaporator and economizer pipe. The calculation is also adjusted to the generated steam needed in order to spin the turbines. The pressure produced from this boiler design should be 2.9 bar and for the amount of steam was 21 kg / hour. As a result, the calculation of evaporator surface area is 8,83 m², result simulation HTRI 8,95m² with 88 pipes and 1500 mm for each pipe, while the heated surface area for economizer is 0,46 m² result simulation HTRI 0,45 m² with 18 pipes and 400 mm long for each pipe.

Keywords: Boiler, evaporator, economizer, dry wastes, fuels

I. PENDAHULUAN

Permasalahan sampah merupakan masalah kompleks yang dihadapi setiap kota besar, permasalahan ini timbul ketika jumlah sampah meningkat namun tidak diiringi dengan peningkatan tindakan dan sarana pengolahan sampah. Salah satu jenis sampah yang memerlukan perhatian khusus adalah sampah anorganik (kertas, plastik, styrofoam, dll) karena sifatnya yang sulit diurai tanah sehingga sampah ini akan bertahan lama menjadi sampah. Adapun salah satu upaya penanganan jenis sampah kering dengan pembuatan Tungku SIDAUS untuk mereduksi volume sampah kering dengan cara pembakaran sudah berhasil dilakukan dengan rata-rata kemampuan tungku bakar sampah dilihat dari kecepatannya adalah 15,91 kg/jam (Jasmid, 2016), akan tetapi hasil pembakaran tersebut hanya berupa abu, sedangkan jika ditinjau dari nilai kalor, maka sampah memiliki LHV dengan nilai antara 675,26 sampai 12195,08 kcal/kg.

Disisi lain, boiler yang merupakan salah satu komponen PLTU Mini untuk menguapkan air pengisi sehingga menghasilkan *superheated*

steam yang akan digunakan untuk *mengexpansi* turbin agar mampu menghasilkan energi listrik kapasitas 3kW yang ada di Laboratorium Konversi Energi STT-PLN, saat ini bahan bakar yang digunakan masih menggunakan solar murni dengan LHV 10710.9 kCal/kg. sehingga dibutuhkan energi alternatif yang dapat menggantikan sumber daya tidak terbarukan seperti bahan bakar fosil. Energi ini dapat digantikan oleh energi yang terkandung di dalam sampah, dikenal dengan konsep *waste to energy* (Dian, 2010).

Salah satu upaya dalam penanganan sampah yang ada di STT –PLN adalah memanfaatkan sampah kering sebagai bahan bakar pada sebuah boiler mini. Sehingga hasil pembakaran sampah kering dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar di PLTU Mini khususnya untuk kegiatan praktikum Konversi Energi.

II. KAJIAN LITERATUR

PLTU adalah jenis pembangkit listrik tenaga termal yang banyak digunakan, karena

efisiensinya tinggi sehingga menghasilkan energi listrik yang ekonomis. PLTU merupakan mesin konversi energi yang mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi listrik. Bahan bakar pada PLTU pada umumnya menggunakan batubara, minyak, dan gas. Akan tetapi pada pembangkit listrik tenaga sampah bahan bakar dari pembangkit tersebut berupa sampah. Sampah dibakar menghasilkan menghasilkan gas panas yang nantinya gas panas tersebut mengubah air yang masuk kedalam boiler menjadi uap jenuh yang nantinya diteruskan ke superheater untuk dijadikan uap panas lanjut sehingga dapat memutarakan turbin. Daya yang dihasilkan pada pembangkit listrik tenaga sampah ini bervariasi antara 500 kW sampai 10 MW Pembangkit Listrik Tenaga Uap.

Boiler merupakan mesin kalor (*thermal engineering*) yang mentransfer energi-energi kimia atau energi otomis menjadi kerja (usaha) (Muin, 1988). Boiler atau ketel uap adalah suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk menghasilkan uap. Uap diperoleh dengan memanaskan bejana yang berisi air dengan bahan bakar (Yohana dan Askhabulyamin, 2009). Boiler mengubah energi-energi kimia menjadi bentuk energi yang lain untuk menghasilkan kerja. Boiler dirancang untuk melakukan atau memindahkan kalor dari suatu sumber pembakaran, yang biasanya berupa pembakaran bahan bakar. Boiler berfungsi sebagai pesawat konversi energi yang mengkonversikan energi kimia (potensial) dari bahan bakar menjadi energi panas. Boiler terdiri dari dua komponen utama, yaitu:

1. Dapur sebagai alat untuk mengubah energi kimia menjadi energi panas.
2. Alat penguap (evaporator) yang mengubah energi pembakaran (energi panas) menjadi energi potensial uap (energi panas).

Secara garis besar terdapat dua macam teknologi pengolahan sampah yaitu teknologi pembakaran (*incineration*) dan teknologi fermentasi metana. (Safrizal, 2014). Untuk menentukan performa sampah kering dalam

penggunaannya sebagai bahan bakar perlu dilakukan analisis mengenai sifat-sifatnya berdasarkan unsur-unsur pembentuknya dalam basis persen massa Heating valuenya (nilai kalor). Ada dua jenis analisis berdasarkan unsur-unsur pembentuknya yang biasa dipakai yaitu proximate dan ultimate. Dalam analisis proximate, tentukan persen massa dari fixed carbon, volatile matter (unsur yang mudah menguap), moisture (kandungan air) dan ash (abu). Ketiga unsur pertama tadi ditentukan berdasarkan ANSI (American National Standards Institution) / ASTM D 3172 sedangkan unsur yang terakhir ditentukan berdasarkan ANSI / ASTM D 2492. Analisis ultimate menganalisis sifat dari suatu sampah kering berdasarkan persentasi massa dari unsur-unsur kimia yang membentuknya, yaitu persentasi massa dari karbon (C), hidrogen (H₂) oksigen (O₂), nitrogen (N₂), sulfur (S) dan abu (Ash). Analisis tersebut ditentukan berdasarkan standar ASTM D 3176.

RDF adalah hasil proses pemisahan limbah padat antara fraksi sampah mudah terbakar dan tidak mudah terbakar seperti metal dan kaca (Cheremisniff, 2003). Besarnya daya kWh yang dibangkitkan erat kaitannya dengan nilai kalor. Dimana nilai kalor sangat dipengaruhi oleh kadar air dan hidrogen sampah. Hasil pengurangan nilai kalor ini, LHV, biasanya digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan teknologi pengolahan dan aplikasi WTE. Nilai kalor juga dipengaruhi oleh kadar volatil dan abu. Semakin tinggi kadar volatil yang terbakar, nilai kalor semakin tinggi. Besarnya nilai kalor dari berbagai sampah dapat dilihat pada table 1 dibawah ini.

Tabel 1 Nilai Kalor dari berbagai sampah
(Dian, 2010)

No	Sampel	Nilai Kalor (kcal/kg)					
		Bom Kalorimeter	LHV	Proximate Analysis		Dulong	
				1	2	3*	3**
	Kertas						
1	HVS	3024,24	2884,84	4234,29	1143,01		3591,18
2	Karton	3602,18	3359,17	4118,58	1154,28	6648,26	
3	Koran	3845,53	3618,95	4238,47	1306,64	4205,97	
4	Majalah	2598,95	2476,51	3646,23	992,02	2712,36	
5	Kertas Nasi	4246,92	3920,67	4167,29	1288,89		3591,18
6	Kardus	4487,07	4093,09	4257,12	1284,39	3571,67	
	Plastik						
7	PET Bottle (no.1)	5450,85	5252,42	4445,83	1382,24	11680,56	
8	HDPE Lembaran (no.2)	11207,00	11169,58	4444,73	1386,33		6307,50
9	PVC lembaran (no.3)	5187,91	5138,23	4332,82	1360,11	5448,78	
10	LDPE (no.4)	12318,40	12195,08	4505,66	1356,34		6307,50
11	PP Cup (no.5)	11912,80	11903,06	4426,95	1380,54		6307,50
12	PS (no.6)	11285,50	11269,80	4273,86	1379,38	9645,22	
	Sampah Makanan&Pasar						
13	Makanan tercampur	5162,21	1437,86	3727,54	737,10	4466,11	
14	Daun Pembungkus	4638,37	975,59	4069,59	573,85		4154,72
15	Batok&gambut kelapa	4684,11	3407,90	4446,86	1291,42		3915,63
16	Sayur	4568,29	689,85	4205,94	248,60		4466,11
17	Ikan	5837,12	1567,48	3497,23	581,39		4466,11
18	Lemak	9891,62	5065,61	4442,10	1213,95	9155,28	
19	Daging	7154,78	2597,33	4359,15	1034,45		
20	Tulang	4464,42	1570,90	3169,97	638,29		6951,46
21	Buah	5064,86	392,54	4337,90	-828,00	4347,01	
	Sampah Kebun						
22	Daun	3998,02	1632,60	3644,07	958,76		4154,72
23	Rumput	4153,51	906,08	7365,52	567,68		4154,72
24	Cabang pohon/ranting	4715,66	1997,45	4211,09	1096,14		3915,63
	Tekstil & Karet						
25	Handuk	4435,10	4239,45	4301,44	1348,27		4357,78
26	Jeans	4271,05	4010,65	4393,74	1372,21		4357,78
27	Kaos	4836,68	4664,32	4413,66	1365,93		4357,78
28	Karet	5202,15	5106,45	4218,60	939,96	8598,61	
	Kompos						
29	Mentah	2125,75	675,26	2402,29	420,93		4137,50
30	1/2 Matang	2091,90	979,05	2291,37	484,83		4137,50
31	Matang	1669,73	936,04	1854,94	415,31		4137,50
32	Residu	2211,65	980,02	3007,37	680,21		4137,50

* data Tchobanoglous

** asumsi dari data Tchobanoglous

Tabel 2. Perbandingan Jenis bahan baku plastik dan temperature nyala api

No	Jenis Bahan Baku	Massa bahan baku	Waktu Penyulingan	Temperatur nyala api
1	Kantong kresek	500 gram	15 menit 30 detik	350 °C
2	Botol oli	500 gram	25 menit 15 detik	365 °C
3	Botol air kemasan	500 am	20 menit 21 detik	400 °C

Tabel 3. Rata rata temperture pada presentasi kertas dan kayu

No	Jenis Bahan Baku	Massa jenis kg/m^3	Laju penguapan air (kg/s)	Temperatur nyala api	Efisiensi (%)
1	25% kertas-75% kayu	1140,33	0,0000444	400 °C	24,38%
2	50% kertas-50% kayu	1095	0,0000464	350 °C	24,44%
3	75% kertas-25% kayu	1104,67	0,0000521	300 °C	26,77%

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat beberapa metode riset yang digunakan, yaitu :

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memberikan dasar teori untuk selanjutnya dikembangkan dan diaplikasikan dalam riset ini. Studi literatur terkait dengan perkembangan penggunaan sampah terutama untuk pembangkitan energi listrik.

2. Sampah yang digunakan untuk bahan bakar adalah sampah kering berupa kertas, plastik, dan kayu

3. Perencanaan Boiler

Perencanaan boiler bahan bakar sampah ini menggunakan data komisioning PLTU Mini STT-PLN. Yaitu :

- $P_{\text{out Boiler}} : 42 \text{ psi} = 2,9 \text{ bar}$
(1 bar = 14.5 psi)
- Laju aliran uap : $0,006 \text{ kg/s} = 21 \text{ kg/jam}$.

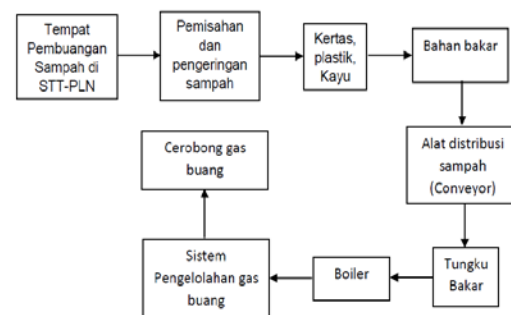
Selanjutnya dilakukan simulasi heat balance dengan menggunakan software cycle tempo. Tahap selanjutnya yaitu penentuan kebutuhan panas dan bahan bakar sehingga diperoleh desain dan ukuran dari Boiler yang terdiri dari ukuran badan, evaporator.

4. Perancangan Boiler

Dari hasil perencanaan boiler tersebut, selanjutnya dilakukan validasi dengan mensimulasinya dengan menggunakan software HTRI. Hasil yang telah divalidasi dengan HTRI selanjutnya dibuat dalam gambar kerja menggunakan software AutoCad.

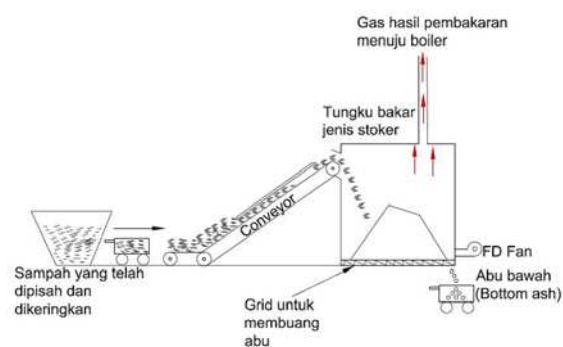
Sampah pada tempat pembuangan sampah di STT-PLN dipisahkan dan dikeringkan sehingga dapat menjadi bahan bakar boiler

tersebut seperti yang ditunjukkan oleh gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1 Digram alir sampah kering sebagai bahan bakar boiler

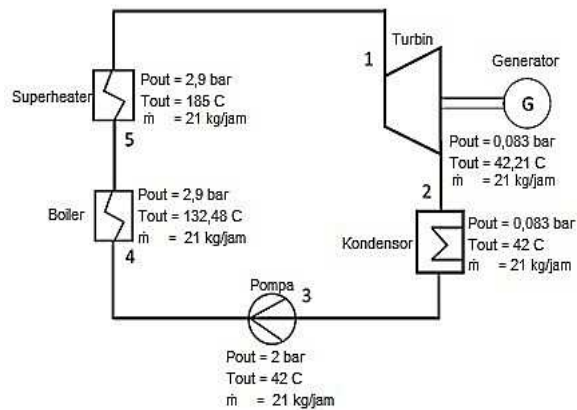
Sedangkan, pendistribusian bahan bakar sampah sampai ke ruang bakar boiler (furnace) dan pengolahan gas hasil pembakaran seperti ditunjukkan pada gambar 2 dibawah ini :



Gambar 2 Sistem distribusi bahan bakar sampah kering sampai ke ruang bakar

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan awal boiler ini digunakan untuk mensimulasikan *heat balance* dengan menggunakan *software cycle tempo*. Gambar 3 berikut ini adalah data awal yang digunakan dalam perancangan ini.



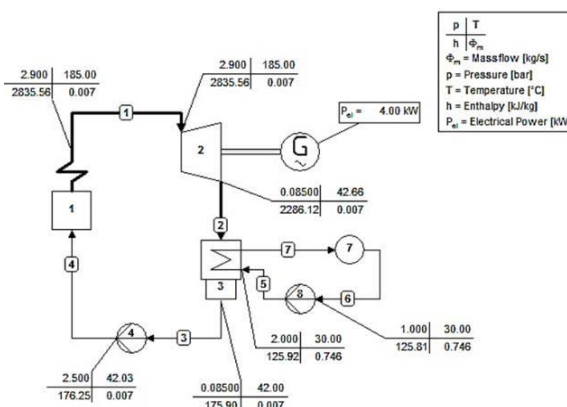
Gambar 3 Kondisi kerja PLTU Mini 3 kW STT-PLN

Simulasi *heat balance* dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *cycle tempo*, dengan data yang digunakan seperti ditunjukkan pada table 4 berikut ini.

Tabel 4 Data awal Simulasi *Heat Balance*

Parameter	Nilai	Satuan
$T_{out \text{ boiler}}$	185	$^{\circ}\text{C}$
$P_{out \text{ boiler}}$	2,9	Bar
$T_{out \text{ turbin}}$	42,21	$^{\circ}\text{C}$
$P_{in \text{ kondensor}}$	0,083	Bar
$T_{out \text{ kondensor}}$	42	$^{\circ}\text{C}$
$P_{out \text{ pompa}}$	2	Bar
$T_{in \text{ cooling tower}}$	39	$^{\circ}\text{C}$
$P_{out \text{ cooling tower}}$	2	Bar
$P_{in \text{ cooling tower}}$	1	Bar
$T_{out \text{ cooling tower}}$	30	$^{\circ}\text{C}$
LHV	17203,6	kJ/kg

Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi dari *heat balance* berdasarkan data table 4.



Gambar 4 Simulasi *Heat Balance* PLTU Mini 3 kW STT-PLN

Data hasil simulasi seperti pada gambar 4 diatas, maka digunakan untuk perencanaan dari boiler untuk PLTU Mini 3kW STT-PLN. Berdasarkan hasil perhitungan, maka diperoleh kebutuhan kalor di boiler dan kebutuhan bahan bakar seperti ditunjukkan oleh tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5 Hasil Perhitungan kebutuhan kalor dan bahan bakar di Boiler

Parameter	Nilai	Satuan
Qeconomiser	1666,14	kJ/hr
Qevaporator	50080	kJ/hr
Qtotal	51746,14	kJ/hr
Kebutuhan Bahan Bakar	4,4	kg bahan bakar/hr

Berdasarkan tabel 5 diatas, besarnya kalor yang dibutuhkan di boiler untuk proses pemanasan air sebesar 51746,14 kJ/hr untuk dapat menghasilkan uap sebesar 21 kg/hr dengan menggunakan bahan bakar berupa sampah kering berupa kertas, plastic dan kayu. Sedangkan besarnya kebutuhan bahan bakar dengan mengasumsikan efisiensi boiler 70% yaitu sebesar 4,4 kg bahan bakar tiap jam.

Berdasarkan data-data hasil simulasi dan perhitungan kebutuhan kalor diatas, maka berikut ini adalah desain dan ukuran dari boiler. Yang terdiri dari badan boiler dan evaporator.

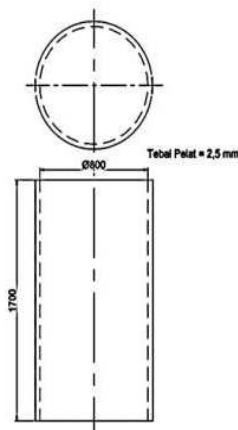
Desain dan Ukuran Badan Boiler

Desain boiler yang telah didapatkan merupakan hasil dari pengumpulan data dari literature dan survei lapangan. Oleh karena itu asumsi spesifikasi perancangan bangun boiler didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 6 Data Perancangan Badan Boiler

Parameter	Nilai	Satuan
Tipe Boiler	Vertical water tube boiler	
Diameter dalam boiler	800	mm
Temperatur operasi	400	$^{\circ}\text{C}$
Tekanan operasi	3	Bar
Bahan bakar	Sampah kering (kertas, plastic dan kayu)	

Berdasarkan tabel 6 diatas, Boiler yang direncanakan tergolong ke dalam *steam boiler* kapasitas kecil, yaitu kurang dari 10 ton/hr dan bertekanan rendah karena kurang dari 10 atm, sehingga standar perancangan yang digunakan yaitu ASME Section IV. Material dalam merencanakan badan boiler ini menggunakan bahan SA 285 Grade C merupakan material carbon steel untuk boiler pada ASME Section IV. Material SA 285 Grade C. Pada ASME Section IV variabel tinggi tidak digunakan untuk mencari tebal badan boiler, maka disini peneliti menentukan sendiri tinggi badan boiler yaitu 1700 mm. Ketebalan minimal plat yang diijinkan $t = 0,09 \text{ in} = 2,5 \text{ mm}$. Jadi dengan Maximum Allowable Working Pressure (MAWP) $43,5 \text{ lb/in}^2$ ketebalan plat yang direncanakan sebesar 2,5 mm, dan didapatkan diameter luar badan boiler sebesar 805 mm. gambar 5 berikut ini adalah hasil desain dari badan boiler.



Gambar 5 2D ukuran badan boiler menggunakan perangkat lunak *autocad*

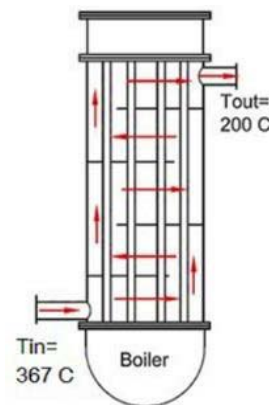
Desain dan Ukuran Evaporator

Pipa evaporator yang dipakai pada perancangan boiler ini berukuran $3/4''$ (0,0214m) schedule 40, dengan pertimbangan untuk mempermudah perawatan, karena seperti ketel komersil. Memiliki diameter dalam 21,4 mm, diameter luar 27,2 mm dan tebal 2,9 mm dan konduktivitas $k_p = 43,3 \text{ W/mK}$. Material untuk pipa schedule 40 adalah carbon steel pipe (*welded/seamless*).

Untuk menentukan temperature pada pembakaran sampah kering, maka digunakan referensi yang membahas tentang waktu yang dibutuhkan untuk membakar bahan baku plastik dan besarnya temperatur nyala api api yang dibutuhkan. Tabel 2 dan 3 menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk membakar bahan baku

besarnya temperatur nyala api. Karena bahan bakar sampah kering yang digunakan dalam boiler berbahan bakar sampah kali ini salah satunya adalah kertas, kayu dan plastik dan presentasi sampai tersebut semua dibagi rata maka hasil temperatur pembakaran ketiga sampah tersebut dengan melihat data diatas adalah Kantong kresek = 350°C , Botol oli = 365°C , Botol Air kemasan = 400°C , 50% kertas - 50% kayu = 350°C . Jadi, rata rata dari data diatas adalah 367°C .

Dengan bentuk boiler yang tidak terlalu besar maka diasumsikan temperatur keluar boiler adalah 200°C seperti gambar 6 dibawah ini:



Gambar 6 Aliran gas panas pada boiler

Asumsi properti gas asap = properti udara, dimana :

$$T_s = (367 + 200)/2 = 283,5^\circ\text{C}$$

$$\rho = 1,43 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 0,35 \times 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

$$\mu/\rho = 1,39 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{det k}$$

$$= 0,025 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$C_p = 1070 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$$

$$Pr = \mu.C_p/k = 0,8756$$

Kecepatan aliran gas asap yang mengalir dari pipa gas hasil pembakaran untuk memanasi pipa pipa evaporator. Asumsi Diameter dalam pipa gas panas = 4 in = 102 mm, $V = 1,55 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Bilangan Reynolds aliran tersebut 11374. maka Dalam perhitungan ini aliran gas asap yang memanasi seluruh komponen boiler berupa aliran turbulen berada pada pada bilangan lebih dari 4000.

Berdasarkan analisis perhitungan diperoleh $Nu = 37,98$ Sehingga koefisien konveksi gas asap yang mengalir dari tungku pembakaran melewati komponen boiler (pipa pipa evaporator) diperoleh $h_o = 9,31 \text{ W/m}^2\text{K}$. selanjutnya Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi h_i (koefisien perpindahan panas

didalam pipa) pada evaporator dapat ditentukan, dimana Air mengalami proses pendidihan.

Beda T, $DT_e = T_s - T_{sat} = 151,02^\circ\text{C}$.

Untuk perhitungan h_{konv} konstanta C menggunakan 0,62 karena pipa. (0,62 = silinder dan 0,66 = bola), diperoleh $h_{konv} = 303,78 \text{ W/m}^2\text{K}$

Koefisien radiasi dari permukaan pipa dengan suhu T_s ke air pada suhu T_s adalah $h_{rad} = 7,92 \text{ W/m}^2\text{K}$. sehingga Koefisien konveksi total adalah $h_i = 309,72 \text{ W/m}^2\text{K}$. Koefisien perpindahan panas total pada evaporator $U_i = 41,01 \text{ kJ/m}^2 \text{ hr K}$.

Jumlah Pipa Evaporator dapat ditentukan, dimana besarnya Qevaporator dari hasil analisis

adalah 50080 kJ/hr dan $U = 41,01 \text{ kJ/m}^2 \text{ hr K}$ dan LMTD $134,67$ sehingga area perpindahan panas effective di evaporator diperoleh sebesar $= 8,83 \text{ m}^2$ atau 8830000 mm^2 . Untuk menentukan jumlah pipa evaporator adalah dengan luas area 8830000 mm^2 , maka jumlah pipa evaporator diperoleh sebanyak $n = 87,6 \sim 88$ pipa.

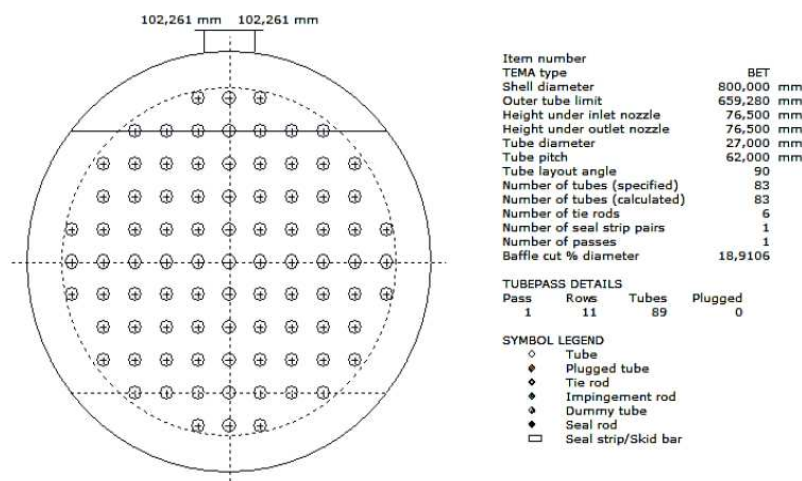
Dari data diatas, maka dibuat simulasi dalam HTRI, adapun hasil simuasi HTRI adalah sebagai berikut :

Tabel 7 Hasil Simulasi desain Evaporator dengan perangkat lunak HTRI

PERFORMANCE OF ONE UNIT				
Fluid Allocation	Shell Side		Tube Side	
Fluid Name	Gas		Water	
Fluid Quantity, Total kg/hr	559,803		21,0001	
Vapor (In/Out)	559,803	559,803		
Liquid			21,0001	21,0001
Steam				
Water				
Noncondensables				
Temperature (In/Out) C	367,00	200,00	130,00	132,48
Specific Gravity			1,0004	1,0004
Viscosity mN-s/m ²	0,0215	0,0215	0,7747	0,7747
Molecular Weight, Vapor				
Molecular Weight, Noncondensables				
Specific Heat kJ/kg-C	1,0700	1,0700	4,1811	4,1811
Thermal Conductivity W/m-C	0,0250	0,0250	0,6302	0,6302
Latent Heat kJ/kg				
Inlet Pressure kPa	290,004		350,005	
Velocity m/s	0,63		1,816e-4	
Pressure Drop, Allow/Calc kPa		0,282		1,049e-5
Fouling Resistance (min) m ² -K/W				
Heat Exchanged W	13923,7	MTD (Corrected)	133,2 C	
Transfer Rate, Service	15,07 W/m ² -K	Clean	11,42 W/m ² -K	Actual 11,42 W/m ² -K

Sedangkan untuk memverifikasi hasil perhitungan manual jumlah pipa, maka digunakan perangkat lunak HTRI. Adapun hasil

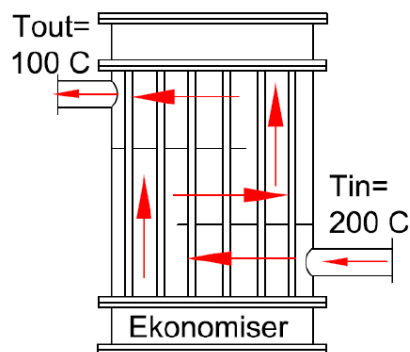
dari simulasi tersebut dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar 7 Hasil Desain 2D Evaporator pada program HTRI

Desain dan Ukuran Economiser

Panas yang dibutuhkan ekonomiser = 1666,14 kJ/hr. Ukuran diameter pipa untuk ekonomiser disamakan dengan ukuran pipa pada evaporator, yaitu $D_o = 27,2$ mm dan $D_i = 21,4$ mm. Karena gas panas yang dipakai pada ekonomiser adalah gas panas sisa dari evaporator maka temperatur awal masuk ekonomiser adalah 200°C dan temperature keluar ekonomiser adalah 100°C seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8 Aliran Gas panas pada economizer

koefisien perpindahan panas sisi luar pipa) pada ekonomiser sama dengan koefisien perpindahan panas sisi luar pipa pada evaporator yaitu $h_o = 9,31$ $\text{W/m}^2\text{K}$. sedangkan dari perhitungan diperoleh koefisien Perpindahan Kalor Konveksi h_i (koefisien perpindahan panas didalam pipa) pada ekonomiser yaitu : $h_{konv} = 182,27$ $\text{W/m}^2\text{K}$ dan $h_{rad} = 3,376$ $\text{W/m}^2\text{K}$. sehingga h total $h_i = 184,802$ $\text{W/m}^2\text{K}$. Koefisien perpindahan panas total dalam ketel adalah $U_i = 43,2$ kJ/m^2 hr K. Δ LMTD = 85 Jadi, luas bidang yang dipanaskan sebesar $0,46$ $\text{m}^2 = 460000$ mm^2 , sehingga jumlah pipa 17,11 ~18 pipa. Sehingga minimal pipa pada ekonomiser adalah 18 pipa dengan panjang 400 mm.

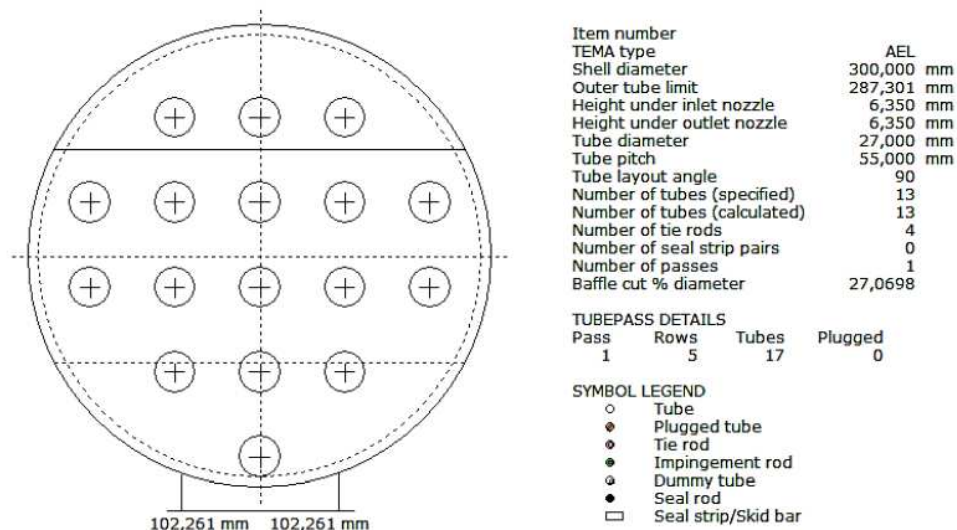
Dari hasil perhitungan diatas, maka dibuat simulasi dalam perangkat lunak HTRI seperti yang ditunjukkan pada tabel 8 dibawah ini.

Tabel 8 Hasil Simulasi Perhitungan Economiser dengan perangkat lunak HTRI

PERFORMANCE OF ONE UNIT					
Fluid Allocation		Shell Side		Tube Side	
Fluid Name		Gas		Water	
Fluid Quantity, Total	kg/hr	23,1001		21,0001	
Vapor (In/Out)		23,1001	23,1001		
Liquid				21,0001	21,0001
Steam					
Water					
Noncondensables					
Temperature (In/Out)	C	200,00	100,00	48,00	58,00
Specific Gravity				1,0004	1,0004
Viscosity	mN-s/m ²	1,40e-4	1,40e-4	0,7747	0,7747
Molecular Weight, Vapor					
Molecular Weight, Noncondensables					
Specific Heat	kJ/kg-C	1,0700	1,0700	4,1811	4,1811
Thermal Conductivity	W/m-C	0,0250	0,0250	0,6302	0,6302
Latent Heat	kJ/kg				
Inlet Pressure	kPa	290,004		350,005	
Velocity	m/s	3,688e-2		2,361e-3	
Pressure Drop, Allow/Calc	kPa		0,095		1,547e-4
Fouling Resistance (min)	m ² -K/W				
Heat Exchanged W	465,247	MTD (Corrected)		89,6 C	
Transfer Rate, Service	27,32 W/m ² -K	Clean	11,83 W/m ² -K	Actual	11,83 W/m ² -K

Sedangkan untuk memverifikasi data hasil perhitungan manual, maka berikut ini hasil

simulasi jumlah pipa economizer ditunjukkan oleh gambar 9 dibawah ini :



Gambar 9 hasil simulasi jumlah pipa economizer menggunakan perangkat lunak HTRI

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat ditarik kesimpulan :

1. Untuk Tekanan boiler 2.9 bar dan laju aliran steam 21 kg / hr, besarnya kalor yang dibutuhkan di boiler sebesar 51746,14 kJ/hr dengan menggunakan sampah kering dengan laju aliran 4,4 kg bahan bakar/hr
2. Luas bidang yang dipanaskan untuk evaporator dan economiser pada perancangan boiler berdasarkan verifikasi menggunakan perangkat lunak HTRI masing-masing 8,95 m² dan 0,45 m²
3. Jumlah pipa evaporator dan economiser masing-masing berjumlah 88 dan 18 pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- Djokosetyardjo, M.J., *Ketel Uap*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1987
- Djokosetyardjo, M.J., *Pembahasan Lebih Lanjut Tentang Ketel Uap*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1987
- Kakac, Sadik, *Boiler, Evaporator and Condensor*, John Wiley & sons, 1991
- Holman, J.P., *Perpindahan Kalor*, Jakarta Erlangga, 1994
- Ardiyanto, Dwi., 2013. *Rancang Bangun Boiler Untuk Proses Pemanasan Sistem Uap Pada Industri Tahu Dengan Menggunakan Catia V5*. Semarang : Universitas Negeri Semarang

Helmi, Irsan., 2007. *Perancangan Boiler Untuk PLTU Berkapasitas 7 MW*. Jakarta : Universitas Indonesia

Dong, Trang T.T. & Lee, Byeong-Kyu , 2009. *Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea*. Waste Management, 29, 1725-1731

Ade Fatimah, 2009. *Analisis Kelayakan Usaha Pengolahan Sampah Menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Pltsa) Di Kota Bogor* Bogor : Institut Pertanian Bogor

Bizzy I, Setiadi R, Studi perhitungan alat penukar kalor tipe shell and tube dengan program heat transfer research inc (HTRI). *Jurnal Rekayasa Mesin*. Volume 13(1), hal. 67-77. 2013

Kadir, Kajian pemanfaatan sampah plastik sebagai sumber bahan bakar cair. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*. Volume 3 (2), hal. 223-228. 2012

Adrian Nusalim, 2012. *Perancangan ketel uap untuk PT. Hongxing Algae International*. Surabaya : Universitas Kristen Petra

Agung Sudrajad, Uji Ultimat Dan Proksimat Sampah Kota Untuk Sumber Energi Alternatif Pembangkit Tenaga. 2014 *Seminar Nasional Teknik Mesin Universitas Trisakti*. hal. KE13 1 -6.

Caysa, Ardi., 2012. *Analisa Potensi Refuse Derived Fuel (RDF) Dari sampah Unit Pengelolaan Sampah (UPS) Di Kota Depok (Studi Kasus UPS Grogol, UPS Permata Regency, UPSCilangkap)*. Jakarta : Universitas Indonesia

- Edy, Jasmid. 2016. Tungku Sidaus Pemusnah Sampah Cepat dan Tepat. Jurnal Power Plant, Vol. 4, No. 3, ISSN : 2356-1513
- Novita, Marya Dian. Perhitungan Nilai Kalor Berdasarkan Komposisi dan Karakteristik Sampah Perkotaan Indonesia Dalam Konsep Waste To Energy. 2010. Jurnal Teknik Lingkungan Volume 16 Nomor 2, (hal. 103-114)